

串联转轮 + RTO 工艺处理轮胎密炼废气的研究与应用

刘志浩, 张晓明, 赵佳宾, 曹凯

(浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 威海 264400)

摘要: 轮胎密炼工序是在轮胎生产过程中, 将胶料及各类小料、添加剂混合压制成胶片的一个过程。该工序产生的烟气具有风量大、烟气 VOCs 浓度随胶料配方变化明显等特点, 随着近几年国家环保政策力度的加大, 密炼工段面临着 VOCs 治理的问题, 致使很多企业将其他行业的 VOCs 治理技术移植到轮胎行业密炼工段, 造成资源的浪费以及工艺的不合理。本文就目前我司密炼工序环保升级改造选用的双转轮串联 + RTO 燃烧工艺进行简单介绍, 为轮胎企业在密炼工序烟气治理选用技术路线方面提供参考。

关键词: 轮胎行业; VOCs 治理; 烟气治理; 转轮工艺; RTO 燃烧

中图分类号: TQ320.9

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)05-0043-05

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.05.009

我司是一家生产全钢、半钢子午线轮胎的企业, 公司地址位于山东省威海市荣成市。企业在生产轮胎过程中, 在密炼工段会产生部分废气, 该废气主要成分为挥发性有机物 (VOCs)、颗粒物、恶臭物质等, 容易对厂区周围环境及附近居住人群造成不良影响。为进一步提高废气治理水平, 降低对周围环境的影响。我司实施了密炼工序环保设备升级改造项目, 项目采用“双转轮串联 + RTO 燃烧”工艺对原有“光催化 + 等离子 (或喷淋)”的组合式废气治理设备进行了升级改造, 目前项目实施完成, 环保设备已运行平稳, 排放数据稳定。

项目废气排放标准参考《橡胶制品工业污染物排放标准》(GB27632—2011) 表 5 新建企业大气污染物排放限值。

项目废气恶臭污染物标准参考《恶臭污染物排放标准》(GB14554—93) 二级标准。

该项目设备投运后, 实际颗粒物排放浓度 $\leq 6 \text{ mg/m}^3$, 恶臭污染物排放浓度 < 500 (无量纲), 非甲烷总烃排放浓度 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$, 且当处理设备进口 VOCs 浓度 $> 50 \text{ mg/m}^3$ 时, 设备处理效率 $> 92\%$, 废气排放数值优于国家及行业相关标准。

1 废气收集方案的介绍

废气收集方案包含两个方面: 一是确认废气收集

的位置, 二是确认废气收集的方式与风量。

确保在改善车间环境的同时, 最大限度地控制进入环保设备的废气量, 从而降低环保设备的投资成本和运行成本。

1.1 废气收集位置的研究

运用便携式气体检测仪对密炼线各废气排放点进行全面检测, 并详细记录各点的废气浓度数据, 详见表 1。

对于各条密炼线橡胶投料口、卸料口及下辅机处 VOCs 浓度超过 30 mg/m^3 的废气, 采取“转轮 + RTO 系统”进行高效处理; 而对于胶冷线处浓度较低的废气, 则沿用“光催化 + 等离子 (或喷淋)”的组合式治理工艺, 以确保废气得到有效净化。

1.2 废气风量及收集方式的研究

密炼机橡胶投料口与卸料口所产生的废气, 通过废气收集管路与密炼机预留的废气接口相连接。根据运行经验, 我们一般将收集风量地控制在 $10\ 000 \sim 15\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$ 之间较为合适, 既满足废气收集需求, 又兼顾节能运行的原则。

而对于下辅机的废气收集, 我们则采用了创新的“收集罩 + 自吸垂帘”局部密闭收集方式, 摒弃了传

作者简介: 刘志浩 (1987—), 男, 本科, 中级中程师, 从事轮胎生产设备的管理工作 10 余年, 期间取得各类发明专利 20 余项。

表 1 密炼线各处废气 VOCs 浓度

产线型号	废气产生部位	平均 VOCs 浓度 /(mg·m ⁻³)	瞬时 VOCs 浓度 /(mg·m ⁻³)
GK270N 密炼线	密炼机投、卸料口	50~150	> 200
	下辅机	30~50	
	胶冷线	10~15	
GK400N 密炼线	上辅机投、卸料口	70~180	> 300
	下辅机	30~50	
	胶冷线	10~15	

统的“铝合金框架+阳光板”整体密闭收集方式。这种改进不仅显著提升了废气收集的效果，还为设备的检修提供了极大便利，同时极大地优化了操作人员的工作环境，根据运行经验，将此处风量控制在不超过

10 000 m³/h，收集罩形式对比详见下图 1。

最终，将本项目密炼车间 8 条密炼生产线收集风量控制在不超过 24 万 m³/h，废气收集量见表 2。

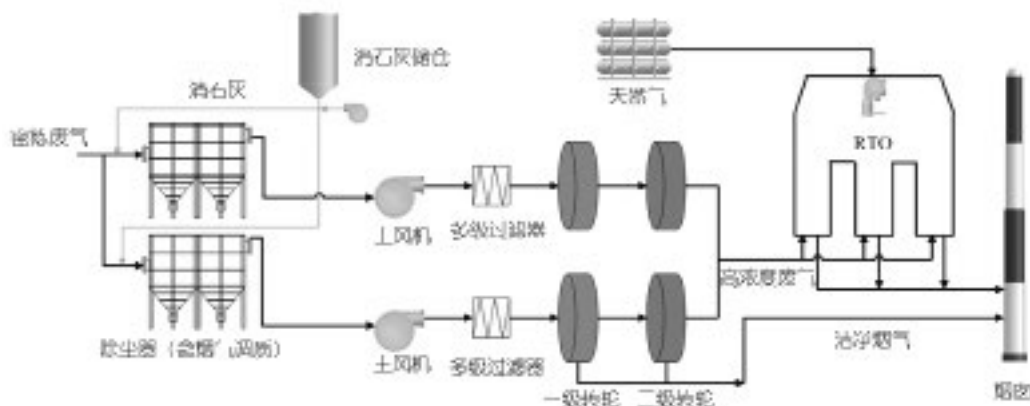


图 1 整体密闭收集方式（左）与局部密闭收集方式（右）

表 2 密炼车间 8 条线废气收集量

产线型号	废气产生部位	风量控制要求 /(m ³ ·h ⁻¹)	生产线数量	控制总风量 /(m ³ ·h ⁻¹)
GK270N 密炼线	密炼机投、卸料口	≤ 10 000	4 条	80 000
	水平输送带（隔离剂池前）	≤ 10 000		
	下辅机	≤ 15 000		
GK400N 密炼线	密炼机投、卸料口	≤ 10 000	4 条	160 000
	水平输送带（隔离剂池前）	≤ 10 000		

2 废气治理方案介绍

2.1 治理工艺介绍

本项目废气处理工艺选择“布袋除尘（配烟气调质）+多级过滤+一级转轮+二级转轮+RTO 燃烧”工艺，详见图 2。

密炼工序中产生的高浓度废气，通过车间管路系统进行有效收集。随后，这些废气经过被喷涂消石灰涂层的布袋过滤，利用消石灰的吸附性，有效去除其中的焦油、粉尘。接着，废气进入多级过滤器进行二次除尘，确保达到更高的除尘标准。随后，废气经过一、二级转轮的吸附过程，有机物被牢固吸附在转轮上。控制系统精准控制脱附风的进入，将吸附在转轮

上的有机物有效脱附。脱附后的有机物随着脱附风进入 RTO 系统进行燃烧处理。在高温（780~820 ℃）的环境下，有机物被彻底分解为水和二氧化碳。最后，经过处理的尾气达到排放标准，通过系统烟囱高空排放。

2.2 治理系统组成介绍

治理系统包括如下：布袋除尘（烟气调质）装置、多级过滤装置、沸石转轮吸附、脱附装置、固定床式 RTO 装置、安全防护装置等。

布袋除尘（烟气调质）装置：密炼工序废气含颗粒物、焦油多，为保护后续转轮，需进行调质处理。通过在除尘器内部加入消石灰，在布袋外表面形成滤

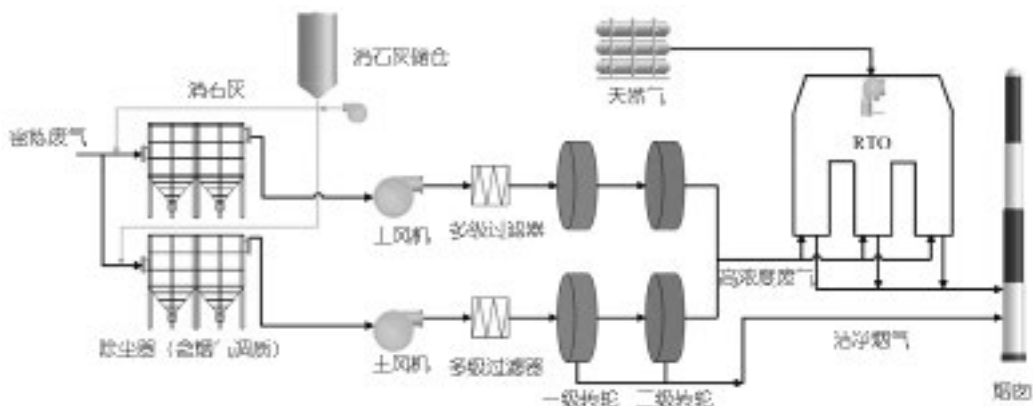


图2 废气处理工艺简图

饼保护层，废气经过后，焦油分子与消石灰相结合，形成较大的粉尘颗粒，被过滤在滤袋外。除尘器设计处理能力为 240 000 m³/h，设计过滤风速 ≤ 1.0 m/min，通过 PLC 系统实时监控并调整运行参数，除尘器的运行方式为在线除尘和离线清灰相结合，能够在不停产的状态下更换滤袋，确保企业的正常生产不受任何影响，根据运行经验，系统消石灰循环使用不超过 7 天，不具备利用条件的消石灰通过罐车外运，并重新补充新的消石灰，布袋除尘（烟气调质）装置工艺详见图 3。

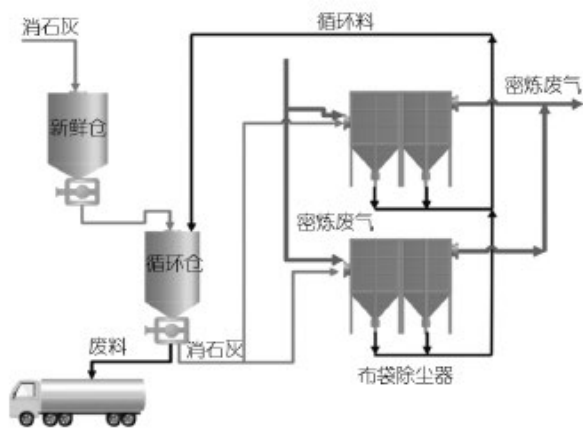


图3 布袋除尘（烟气调质）工艺简图

多级过滤装置：经过布袋除尘系统精心过滤后的烟气，已有效去除了大部分颗粒物及焦油等有害物质，为进一步提高进入转轮废气的洁净度，在转轮前段设置多级过滤器，过滤器由 F7、柱状活性炭过滤层及 F9 组成，设计处理能力为 120 000 m³/h，数量 2 台，过滤风速 < 2.5 m/s。活性炭碘值要求不低于 800，以保证对废气中部分高沸点物质进行吸附。同时，每层

过滤器均配备了先进的压差变送器，一旦压差过载，系统将立即发出警报，提示及时更换耗材，确保设备的持续稳定运行。

沸石转轮浓缩装置：沸石转轮浓缩设备是环保系统能否达标的关键设备，通过该设备将大风量、低浓度的废气进行吸附和浓缩，考虑到轮胎行业废气成分复杂的特点及结合行业内项目经验，采用进口盘式转轮，转轮规格为 Φ4 500×400，每台转轮设计处理风量 < 120 000 m³/h，设计浓缩倍数为 10~15 倍（可调），同时要求转轮具备高温脱附功能，当转轮运行 1 年后，利用高温将转轮吸附的高沸点物质进行脱附，延长转轮的使用寿命。

为适应不同胶料配方产生的废气，设计使用“双转轮串联工艺”，通过将两台转轮串联成一组，每组并联运行的方式，实现了系统自动根据废气浓度，控制转轮运行数量的功能，既满足了废气处理的需求，又达到了节能运行的目的。项目使用的转轮规格参数见表 3。

表 3 转轮基本参数	
轮芯规格/mm	Φ4 500×400
轮芯数量/套	4
轮芯运行数量	2 套组成一组，共计 2 组。
单级处理风量/(m ³ ·h ⁻¹)	120 000
浓缩倍数/倍	10~15（可调）
转轮转速/r/min	1~6 转（可调）
每台转轮处理风量/(m ³ ·h ⁻¹)	≤ 120 000
是否具备高温再生功能	具备

“双转轮串联工艺”运行示意图见图 4。
正常运行时：1、2 号阀门开启，3、4 号阀门关闭。
一级转轮出现故障时：1 号阀门关闭，3 号阀门开启，2 号阀门关闭，4 号阀门开启。
二级转轮出现故障时：2 号阀门关闭，1 号阀门开

启, 3 号阀门关闭, 4 号阀门开启。

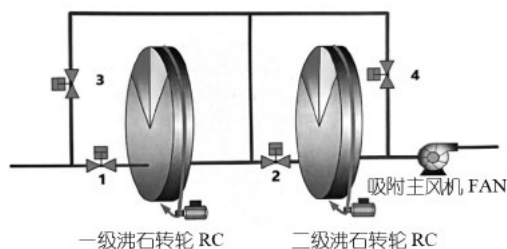


图 4 二级串联运行示意图

固定床式 RTO 装置：RTO 主要由燃烧室、蓄热陶瓷和切换阀等组成，设计处理风量为 $24\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ ，炉体由一个氧化室、三个蓄热室组成，三个蓄热室轮流执行吸热、放热、清扫功能，连续工作，蓄热室“放热”后立即引入适量洁净空气对该蓄热室进行清扫（以保证 VOC 去除率），只有清扫完成后才能进入“蓄热”程序，否则残留的 VOCs 随烟气排放到烟囱从而降低处理效率。浓缩后的废气进入燃烧室，高温（约 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右）条件下裂解为二氧化碳和水。RTO 内部设置蓄热陶瓷，定制结构设计，降低此部分阻力，保证气体流动均匀，保证设备热回收效率不低于 95%，底部鞍环采用分层设计，能够有效避免蓄热体内出现堵塞，增加抽屉式结构，便于更换内部蓄热体。

三床式 RTO 运行示意图 5。

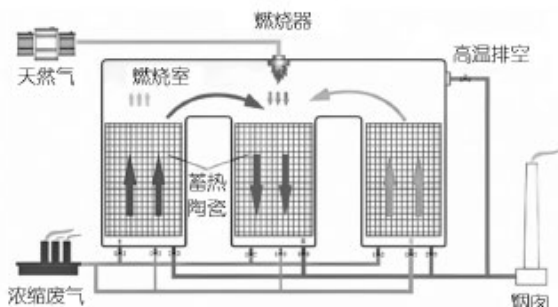


图 5 三床式 RTO 运行示意图

安全防护装置：该项目的安全防护装置主要是整个烟气治理设备的防火保护，通过对系统内部关键设备安装温度控制仪表及消防管路，当检测到温度超过安全设定值时，系统自动切换至应急模式，打开消防管路，喷淋水进入隐患部位，有效预防火灾的发生。同时系统控制电源设置应急供电系统，当发生突然断电时，系统应急供电启用，保证脱附过程不被中断，保护脱附过程的安全性。

2.3 系统运行费用。

项目运行费用主要由电能消耗费用、燃气消耗费

用及耗材费用组成。

系统内部动力风机设计均保留余量，实际运行可通过变频调节，根据生产线运行情况，视时调整运行频率，实现节能运行，本系统用电设备及电耗见表 4。

表 4 系统设备耗电运行费用

设备	参数 /kw	运行时间 /h	用电量 /(kw.h)	每年运行费用 / 万元
除尘器卸灰阀	27	2 640	71 280	4.56
消石灰喷射装置	11	3 960	43 560	2.78
转轮电机	3	7 920	23 760	1.52
主引风机	400	7 920	3 168 000	202.75
脱附风机 1	11	7 920	87 120	5.57
脱附风机 2	15	7 920	118 800	7.6
RTO 风机	30	7 920	237 600	15.2
助燃风机	11	7 920	87 120	5.57
照明等辅助设备	2	7 920	15 840	1.01
总计				246.56

电费 0.64 元 / 度计算，年运行时间为 330 天，每天 24 h，则年运行电费用为 246.56 万元。

系统燃烧需消耗天然气，用量及费用详见表 5。

表 5 系统天然气运行费用

费用名称 / 需求 万元 / (m ³ ·h ⁻¹)	运行时间 /h	用气量 /m ³	每年运行费用
天然气 69	7 920	546 480	163.94

天然气费 3 元 / 度计算，年运行时间为 330 天，每天 24h，则年运行电费用为 163.94 万元。

系统耗材主要为滤材及消石灰，其中滤材约 6 个月更换一次，耗材费约 14.76 万元，详见表 6。

表 6 系统耗材费用

费用名称	单位	用量	每年运行费用 / 万元
F7 滤袋	件	40	1
F9 滤袋	件	40	1.2
消石灰	t/ 年	132	10.56
颗粒活性炭	件	40	2
总计			14.76

合计费用：处理风量约 $24\text{ 万 m}^3/\text{h}$ ，项目年运行费用约为 425.26 万元 / 年。

3 结语

综合来看，“双转轮串联 + RTO 燃烧”工艺，转轮运行数量可根据废气浓度变化而变化，对烟气流量、非甲烷总烃浓度的变化适应能力极强，可实现多转轮串联运行，提高废气治理效率。同时该工艺充分考虑转轮衰减、轮胎配方变化后对系统处理效率的影响，能够实现稳定排放。

轮胎企业在应用该工艺时需综合考虑处理效率与能耗，选择适宜的沸石分子筛转轮浓缩比，实现经济与达标排放的平衡，过高或过低的转轮、再生风温均

会影响转轮对非甲烷总烃的处理效率。

轮胎企业密炼工序废气治理在选用技术路线方面
可以考虑采用“双转轮串联+RTO燃烧”工艺。

使用技术, 2020,4(20):244-246.

[2] 周佳琦, 金海洋, 申晓彤. 工业有机废气治理的综述 [J]. 化工安全与环境, 2022,35(49):22-24.

[3] 刘书言. 工业有机废气治理新技术探索 [J]. 中国石油和化学标准与质量, 2022,42(24):169-171.

参考文献:

[1] 刘春辉. 浅谈挥发性有机物(VOCs)污染控制技术 [J]. 汽车

Research and application of tandem rotor + RTO process for the treatment of tire mixing exhaust gas

Liu Zhihao, Zhang Xiaoming, Zhao Jiabin, Cao Kai

(Prinx Chengshan(Shandong) Tire Co. LTD., Weihai 264400, Shandong, China)

Abstract: The tire mixing process is a process in which rubber compound, various small materials and additives are mixed and pressed into rubber sheet during tire production. The flue gas produced in this process has the characteristics of large air volume and significant change of VOCs concentration with rubber compound formula. In recent years, with the increasingly strict national environmental policies, the mixing section of the tire industry has faced severe challenges in VOCs control, leading many companies to directly apply VOCs control technologies from other industries to the mixing section of the tire industry, resulting in resource waste and unreasonable processes. This article will provide a brief introduction to the dual wheel series+RTO combustion process selected for the environmental upgrade and transformation of our company's mixing process, providing reference for tire enterprises in choosing the technical route for smoke control in the mixing process.

Key words: tire industry; VOCs treatment; flue gas treatment; rotor process; RTO combustion

(R-03)

轮胎巨头，宣布终止农用胎业务

Tire giant announces termination of agricultural tire business

2025年4月4日，大陆集团将其商用特种轮胎业务聚焦于物料搬运、土方工程和港口作业轮胎领域，并将于2025年底终止其农用轮胎业务。这一决定是在进行了全面的业务评估后做出的。由于近年来农用轮胎市场经历了重大的冲击，大陆集团的发展目标已不再与市场日益加剧的商品化趋势相契合。受此次战略重新定位影响的员工主要位于葡萄牙洛萨多的轮胎工厂。大陆集团将在这一转型过程中为每一位受影响的员工提供支持，并相信能够为大多数受影响的员工在大陆集团内部提供其他工作岗位。

大陆集团商用特种轮胎业务负责人保罗·威廉姆斯表示：“我们为作为一个团队为农业产业所做出的贡献，以及与客户和合作伙伴建立的互信关系感到自豪。强化我们在商用特种轮胎业务上的重点，将进一步把我们的资源集中到物料搬运、土方工程和港口作业轮胎等优势领域。”

2025年底之前，大陆集团将履行对其农用轮胎客户的所有合同交付义务，具体涉及包括TractorMaster、Tractor70、Tractor85、CombineMaster和CompactMaster的轮胎系列。同时，其多用途轮胎系列仍将是商用特种轮胎产品组合的一部分，不受此决定的影响。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)